

# Влияние восстановительной терапии на функциональную организацию двигательных систем после инсульта

С.Н. Бушенёва, А.С. Кадыков, Л.А. Черникова

НИИ неврологии РАМН, г. Москва

*Методом функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) изучены механизмы реорганизации двигательных систем после ишемического инсульта (ИИ) в результате восстановительной терапии. Выделены две группы больных с ИИ: 16 пациентов, получивших стандартный курс восстановительной терапии (основная группа), и 16 пациентов, получивших восстановительную терапию только с использованием функционального тренинга – биоуправления с обратной связью по электромиограмме (ЭМГ) (группа сравнения). Дополнительно функциональный тренинг проводился с 14 здоровыми людьми (группа «норма»). В группе здоровых лиц после тренинга отмечено усиление интенсивности сигнала основных активационных зон и появление характерных дополнительных зон активации в области полушарий мозжечка, мозолистого тела и премоторной коры. У пациентов после проведения базисной восстановительной терапии, независимо от локализации инфаркта, выявлено увеличение интенсивности основных активационных зон в сенсомоторной области и в области полушарий мозжечка как для паретичной, так и для здоровой руки. У пациентов после функционального тренинга реорганизация функциональной двигательной системы заключалась в увеличении интенсивности активации основных зон только в ипсилатеральном инфаркту полушария; выраженность этих изменений не зависела от локализации инфаркта. Степень восстановления движений кисти после функционального тренинга была достоверно выше, чем после курса базисной восстановительной терапии. Таким образом, нейровизуализационный (фМРТ) и клинический анализ показал направленное и эффективное воздействие на процессы функциональной реорганизации двигательных систем с помощью методов функционального тренинга.*

**Ключевые слова:** ишемический инсульт, функциональная МРТ, нейропластичность, восстановительная терапия, биоуправление с обратной связью по ЭМГ.

Согласно современным представлениям, в основе как истинного восстановления, так и компенсации нарушенных функций при инсульте и других повреждениях головного мозга лежат механизмы нейропластичности, под которой подразумевается способность различных отделов центральной нервной системы (ЦНС) к реорганизации за счет прежде всего структурных изменений в веществе мозга [8]. Проведенные нейрофизиологические и нейроанатомические исследования на животных, а также функциональные методы картирования мозга у человека, представляли неоспоримые доказательства способности коры мозга взрослого индивидуума к значительной функциональной перестройке [1, 2, 14, 16, 22] и позволили создать нейрофизиологические модели восстановления [19, 23, 25]. Важнейшая роль в исследованиях нейропластичности принадлежит функциональной магнитно-резонансной томографии головного мозга: метод фМРТ позволяет оценивать быстрые локальные изменения кровотока, связанные с функциональной активацией структур мозга при различных видах стимуляции (двигательной, мыслительной и т. д.) [14, 18].

Наиболее частое последствие инсульта – двигательные расстройства в виде гемипарезов различной степени выраженности, которые приводят к значительному ограничению функциональной независимости и снижению качества жизни больных [6, 12, 17, 24]. Поэтому чрезвычайно актуальным является использование современных методик реабилитации для восстановления умеренных и легких двигательных нарушений (парезов), особенно тонких дви-

жений кисти, так как именно эти нарушения становятся ведущей причиной потери профессиональных навыков пациентов.

Среди современных методов двигательной терапии особый интерес представляет метод биоуправления с обратной связью по электромиограмме. В Институте неврологии РАМН этот метод применяется для обучения больных с постинсультными гемипарезами точностному схвату (сопоставлению большого и указательного пальцев кисти), который является ключевым навыком для тонких движений руки. Проводимые исследования показывают, что после курса тренировки у больных наблюдается повышение точности воспроизведения дозированного мышечного напряжения и улучшение мелкой моторики пальцев кисти паретичной руки [3, 8, 10]. Вместе с тем влияние этого вида обучения на реорганизацию двигательных структур мозга остается малоизученным.

Цель настоящей работы – анализ влияния различных видов восстановительной терапии на функциональную организацию двигательных систем в норме и у больных после ишемического инсульта (ИИ). Для этого нами впервые в стране была использована технология фМРТ.

## Характеристика больных и методов исследования

В исследование были включены 32 пациента, обследованные и прошедшие курс восстановительной терапии в

Институте неврологии РАМН (средний возраст 54,5 года [50, 59]). Критериями отбора больных для данного исследования были:

- первичное острое нарушение мозгового кровообращения по ишемическому типу;
- супратенториальная локализация очага ИИ;
- давность ИИ от 1 до 6 месяцев (ранний восстановительный период);
- наличие в клинической картине умеренной или легкой степени гемипареза или монопареза руки, что позволяло больному правильно выполнять «двигательную парадигму» во время проведения фМРТ;
- отсутствие нарушений слуха или нарушений высших психических функций (сенсорная афазия), препятствующих пониманию инструкций;
- общие противопоказания для проведения МРТ.

Основным сосудистым заболеванием была артериальная гипертония и/или ее сочетание с атеросклерозом (27 человек, 84,4%), что обуславливало преобладание у обследованных больных атеротромботического и лакунарного подтипов ИИ – 26 пациентов из 32 (81,3%).

Всем 32 пациентам проводилась комплексная медикаментозная терапия в соответствии с методическими рекомендациями, разработанными в Институте неврологии РАМН [4, 7]. Основную группу составили 16 из 32 больных, которые получали только стандартную восстановительную терапию, включавшую массаж паретичных конечностей, нервно-мышечную электростимуляцию разгибателей кисти и пальцев и традиционную лечебную гимнастику, в том числе и упражнения, направленные на улучшения двигательных функций в руке. В группу сравнения были включены 16 пациентов, получавших терапию с использованием функционального тренинга. Функциональный тренинг проводился методом биоуправления с обратной связью по ЭМГ по методике, применяемой в Институте неврологии РАМН (10 занятий) [8]. Обе группы были сопоставимы по возрасту, тяжести неврологического дефицита, срокам начала и длительности лечения, объему медикаментозной терапии.

Всем больным проводилось комплексное клинико-инструментальное обследование, включающее: изучение жалоб, анамнестических данных, динамическое наблюдение с проведением неврологических осмотров, а также дополнительные методы исследования для уточнения подтипа ИИ (дуплексное сканирование магистральных артерий головы, эхокардиография, исследование особенностей гемореологии крови) [5, 7, 11]. Для объективизации степени выраженности клинических симптомов и динамики восстановительных процессов использовались следующие унифицированные международные шкалы: National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS), Barthel Index (BI), Motor Assessment Scale (MAS), Fugl-Meyer Scale (FMS).

МРТ головного мозга проводилась на томографе Magnetom Symphony (Siemens, Германия), создающем напряженность магнитного поля 1,5 тесла. фМРТ-исследование про-

водилось по стандартному протоколу; в данной работе была выбрана моторно-сенсорная периодическая парадигма, которая заключалась в противопоставлении большого пальца остальным пальцам кисти. фМРТ-исследование у всех больных проводилось при поступлении в стационар (первичное) и на следующий день после окончания курса восстановительной терапии – в среднем через 21–22 дня.

В исследовании в качестве «эталоны нормы» приняли участие также 32 здоровых испытуемых (средний возраст 26,8 года [22, 28]), шестнадцать из которых, как и большие группы сравнения, в течение 10 дней проходили целенаправленное обучение точностному схвату правой руки. фМРТ-исследование проводилось у здоровых испытуемых до и после окончания курса обучения.

## Результаты и обсуждение

На основании данных литературы при анализе полученных результатов нами были выделены основные и дополнительные активационные зоны мозга [13, 14]. К основным отнесены сенсомоторная зона, дополнительная моторная зона, полушария мозжечка и базальные ганглии.

## Функциональная реорганизация двигательных систем у здоровых лиц

В группе здоровых лиц сравнительный анализ фМРТ-данных показал, что целенаправленное обучение точностным движениям пальцев кисти приводит к усилению интенсивности сигнала основных активационных зон (в сенсомоторной области и в полушариях мозжечка), появлению дополнительных зон активации в полушариях мозжечка, часто сочетающихся с активацией в области червя мозжечка, усилению интенсивности сигнала или появлению активации в дополнительной моторной коре. Кроме того, у 85,7% исследованных лиц отмечено появление активации в области мозолистого тела и у 73% – в области премоторной коры.

## Функциональная реорганизация двигательных систем в постинсультном периоде на фоне стандартной восстановительной терапии

В основной группе больных после курса стандартной восстановительной терапии при повторном фМРТ-исследовании, независимо от локализации инфаркта, было выявлено увеличение интенсивности основных активационных зон (в сенсомоторной области и в полушариях мозжечка) как для паретичной, так и для здоровой руки (рис. 1).

В области дополнительной моторной коры отмечалось либо увеличение интенсивности имевшихся до начала терапии активационных зон, либо появление новых для паретичной руки. Наибольшие изменения при повторном фМРТ-исследовании отмечены в зонах дополнительной активации, причем степень этих изменений зависела от локализации инфаркта.

Для всех пациентов было характерно возникновение дополнительной активации в области полушарий мозжечка. При этом во всех случаях с высокой степенью статистической значимости ( $p = 0,0021$ ) была обнаружена положительная корреляция между степенью восстановления дви-

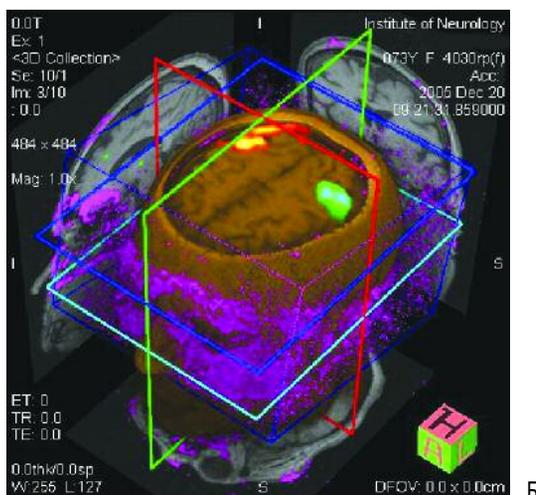
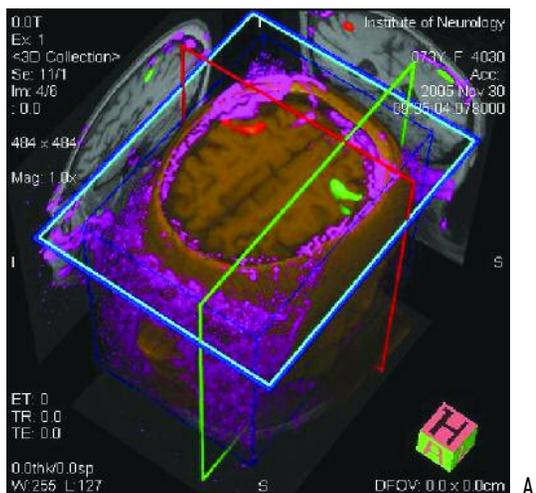


рис. 1: фМРТ больной М. до и после стандартной терапии (основная группа)  
 А – до лечения, Б – после лечения. После проведенного курса стандартной терапии выявлено увеличение интенсивности основных активационных зон в сенсомоторной области как для паретичной, так и для здоровой руки.

гательного дефицита (по шкале MAS) и появлением дополнительных зон активации в полушариях мозжечка.

Усиление активации в области мозолистого тела было характерно для пациентов с подкорковыми (в области таламуса, внутренней капсулы) и корково-подкорковыми инсультами. Появление зон активации после базисной терапии в области премоторной коры было характерно для пациентов с корково-подкорковыми инсультами. Сопоставление данных динамики двигательного дефицита с появлением активационных зон в области мозолистого тела и премоторной коры не выявило корреляции между этими параметрами ( $p = 0,17$ ). Возникновение дополнительной активации в этих зонах, вероятно, отражает варианты нейропластических процессов в зависимости от локализации очага поражения и требует дальнейшего углубленного изучения.

Таким образом, функциональная реорганизация двигательных структур после стандартной восстановительной терапии проявляется в билатеральном увеличении интенсивности активации в основных зонах (сенсомоторных и в области полушарий мозжечка) и в образовании дополни-

тельных зон. При этом возникновение или усиление активации в области дополнительной моторной коры и дополнительных зон активации в области полушарий мозжечка коррелирует с уменьшением двигательного дефицита в руке и является прогностически благоприятным признаком в отношении восстановления двигательной функции.

### Функциональная реорганизация двигательных систем в постинсультном периоде при использовании функционального тренинга

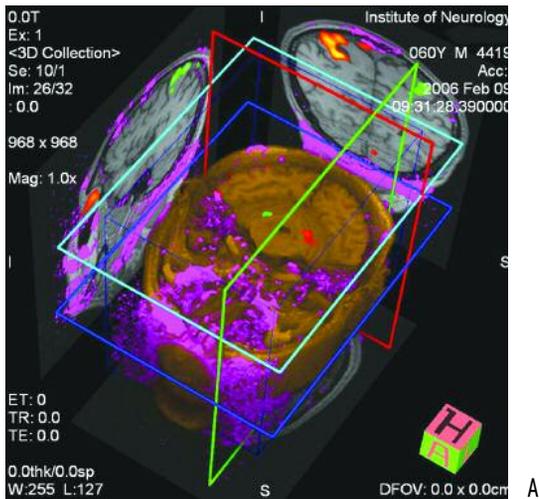
В группе сравнения после проведения курса восстановительной терапии с использованием функционального тренинга функциональная реорганизация двигательных систем заключалась в увеличении интенсивности активации основных зон (в области сенсомоторной коры, дополнительной моторной области и полушарий мозжечка) только для паретичной руки. Выраженность этих изменений не зависела от локализации инфаркта (рис. 2).

Для всех пациентов группы сравнения было характерно появление зон дополнительной активации в полушариях мозжечка и в передних отделах мозолистого тела. Степень интенсивности как основных, так и дополнительных активационных зон после целенаправленного обучения точностным движениям пальцев кисти была статистически значимо выше ( $p = 0,001$ ), чем после курса стандартной терапии.

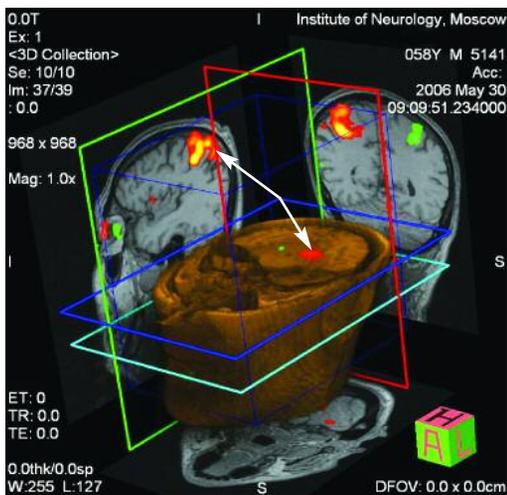
Появление дополнительных зон активации в области полушарий мозжечка коррелировало с улучшением двигательной функции руки, что имеет прогностическую значимость в отношении восстановления двигательного дефицита (аналогичные данные получены у пациентов и после стандартной восстановительной терапии).

Для сравнительной оценки эффективности стандартной терапии и восстановительной терапии с использованием функционального тренинга была изучена динамика восстановления двигательной функции у больных основной группы и группы сравнения. Первичный анализ выявил общее улучшение неврологического дефицита и функциональной активности (по шкалам NIHSS, BI, общий счет по шкале MAS) у всех пациентов, независимо от различий проведенной восстановительной терапии. Однако с учетом негрубой степени выраженности пареза у обследованных больных (легкая или умеренная) оценка неврологического дефицита в целом для сравнительного анализа двух групп пациентов представляется недостаточно информативной. Поскольку в двигательной парадигме, использованной при проведении фМРТ (так же, как и при обучении точностному схвату) участвуют мышцы кисти и пальцев, представляло интерес оценить степень восстановления движений избирательно для дистального отдела руки (шкала MAS – для кисти).

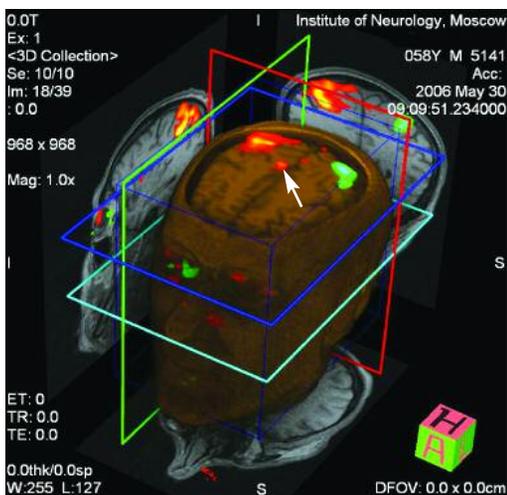
До начала курса восстановительного лечения степень нарушения движений в кисти у больных основной группы и группы сравнения достоверно не различалась и составляла 1,93 и 1,94 балла соответственно. После курса восстановительной терапии у больных основной группы, получавших стандартное лечение, функция кисти улучшилась до 4,3 балла, в то время как в группе сравнения, получавшей функциональный тренинг, двигательная функция кисти увеличилась до 8,9 балла (рис. 3).



A



B



B

рис. 2: фМРТ больного С. до и после функционального тренинга (группа сравнения)

А – до лечения, Б – после лечения. После проведенного функционального тренинга наблюдается увеличение интенсивности активации основных зон (стрелки) только для паретичной руки (в ипсилатеральном инфаркте полушария). В – появление активации области дополнительной моторной коры (стрелка) после функционального тренинга.

Анализ динамики восстановления показал, что степень восстановления движений кисти (наиболее тонких и трудных для восстановления) после функционального тренинга достоверно выше, чем после курса стандартной восстановительной терапии. Иными словами, можно говорить о более целенаправленном и универсальном действии терапии, основанной на использовании обучения с помощью метода биоуправления по ЭМГ. Это положение подтверждается данными фМРТ-исследования, при котором выявлено влияние функционального тренинга только на представительство паретичной руки.

По данным литературы, усиление зон активации на стороне инфаркта, которое было отмечено нами у пациентов после прохождения функционального тренинга, имеет положительное прогностическое значение и коррелирует с хорошим восстановлением, в отличие от усиления активации непораженного полушария [15, 18, 21].

### Заключение

Результаты проведенного исследования продемонстрировали, что возникновение или усиление активации в области дополнительной моторной коры и дополнительных зон в области полушарий мозжечка после различных видов восстановительной терапии является важным нейровизуализационным эквивалентом и предиктором восстановления двигательных функций. Нами показана возможность более направленного и эффективного воздействия на процессы функциональной реорганизации двигательных структур с помощью метода функционального тренинга. Можно заключить, что активное внедрение метода функционального тренинга в программы двигательной реабилитации позволит оптимизировать восстановительные процессы и механизмы нейропластичности, особенно у больных с легкими и умеренными парезами и нарушением мелкой моторики руки.

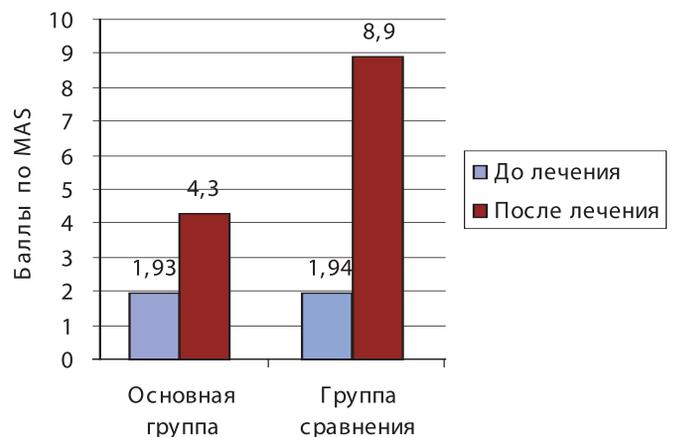


рис. 3: Средние значения степени нарушения двигательной функции кисти (в баллах по шкале MAS) до и после проведения восстановительной терапии в сопоставляемых группах больных

## Список литературы

1. Адрианов О.С. О принципах структурно-функциональной организации мозга. М.: Медицина, 1999.
2. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. М.: Медицина, 1975.
3. Гусарова М.В., Черникова Л.А., Ланская Л.Д., Иоффе М.Е. Применение метода биоуправления с обратной связью по электромиограмме при тренировке точностного схвата у больных с постинсультными гемипарезами. В кн.: Медицинская реабилитация пациентов с заболеваниями и повреждениями опорно-двигательной и нервной систем. М., 2004: 367–369.
4. Кадыков А.С. Реабилитация после инсульта. Российский мед. журн. 1997; 1: 24–27.
5. Кадыков А.С., Черникова Л.А., Кугоев А.И. и др. Основные принципы и условия ранней реабилитации больных, перенесших инсульт. В кн.: Актуальные проблемы неврологии. Фрунзе, 1989: 83–85.
6. Столярова Л.Г., Ткачева Г.Р. Реабилитация больных с постинсультными двигательными расстройствами. М.: Медицина, 1978.
7. Суслина З.А., Пирадов М.А., Танащян М.М. Принципы лечения острых ишемических нарушений мозгового кровообращения. В кн.: Очерки ангионеврологии / Под ред. З.А. Суслиной. М.: Атмосфера, 2005: 206–215.
8. Черникова Л.А. Современные технологии двигательной реабилитации больных, перенесших инсульт. В кн.: Суслина З.А. (ред.) Очерки ангионеврологии. М.: Атмосфера, 2005: 259–267.
9. Черникова Л.А., Некрасова Е.М. Метод электромиографической обратной связи при постинсультных двигательных нарушениях. Журн. невропатол. и психиатрии им. С.С. Корсакова 1988; 9: 46–48.
10. Черникова Л.А., Шарыпова Т.Н., Разинкина Т.П., Торопова Н.Г. Воздействие некоторых физических методов лечения на состояние центральной гемодинамики у больных, перенесших инсульт. В кн.: Немедикаментозные методы медицинской реабилитации. Харьков, 1990: 113–114.
11. Adams H., Adams R., Zoppo G.D. Guidelines for the early management of patient with ischemic stroke. Stroke 2005; 36: 916–923.
12. Cabeza R., Daselaar S.M., Dolcos F. et al. Task-independent and task-specific age effects on brain activity during working memory, visual attention and episodic retrieval. Cereb. Cortex 2004; 14: 364–375.
13. Calautti C., Leroy F., Guinestre J.-Y. et al. Sequential activation brain mapping after subcortical stroke: changes in hemispheric balance and recovery. NeuroReport 2002; 12: 3883–3886.
14. Calautti C., Naccarato M., Jones P.S. et al. Relationship between motor deficit and hemisphere activation balance after stroke: A 3T fMRI study. Neuroimage 2007; 34: 322–331.
15. Carey J.R., Greer K.R., Grunewald T.K. et al. Primary motor area activation during precision-demanding versus simple finger movement. Neurorehabil. Neural Repair 2006; 20: 361–370.
16. Feydy A., Carlier R., Roby-Brami A. et al. Longitudinal study of motor recovery after stroke: recruitment and focusing of brain activation. Stroke 2002; 33: 1610–1617.
17. Jang S.H., Ahn S.H., Ha J.S. et al. Perinfarct reorganization in a patient with corona radiata infarct: a combined study of functional MRI and diffusion tensor imageractography. Restor. Neurol. Neurosci. 2006; 24: 65–68.
18. Kim Y.H., You S.H., Kwon Y.H. et al. Longitudinal fMRI study for locomotor recovery in patients with stroke. Neurology 2006; 67: 330–333.
19. Nair D.G., Fuchs A., Burkart S. et al. Assessing recovery in middle cerebral artery stroke using functional MR. I. Brain. Inj. 2005; 19: 1165–1176.
20. Ohnishi T., Matsuda H., Asada T. et al. Functional anatomy of musical perception in musicians. Cereb. Cortex 2001; 11: 754–760.
21. Platz T., Eickhof C., van Kaick S. et al. Impairment-oriented training forearm paresis after stroke: a single-blind, randomized, controlled multicentre trial. Neurologie & Rehabilitation 2004; 4: 9–15.
22. Shumway-Cook A., Woollacott M.H. Motor control. Theory and practical applications. Lippincott, 1995.
23. Ward N., Frackowiak R. Age-related changes in the neural correlates of motor performance. Brain 2003; 126: 873–888.
24. Ward N.S., Newton J.M., Swayne O.B. et al. Motor system activation after subcortical stroke depends on corticospinal system integrity. Brain 2006; 129: 809–819.
25. Zemke A., Heagerty P., Lee C., Cramer S. Motor reorganization after stroke is related to side of stroke and level of recovery. Stroke 2003; 34: 230.

## Influence of rehabilitation therapy on functional organization of motor systems after stroke

S.N. Busheneva, A.S. Kadykov, L.A. Chernikova

*Institute of Neurology, Russian Academy of Medical Sciences, Moscow*

**Key words:** ischemic stroke, functional MRI, neuroplasticity, rehabilitation therapy, EMG biofeedback.

Functional MRI (fMRI) was applied to study mechanisms of functional reorganization of motor systems after ischemic stroke (IS) as the result of rehabilitation. Two groups of patients with IS were recruited: 16 patients on standard restorative therapy (basic group) and 16 patients on functional training – EMG biofeedback (comparison group). In addition, functional training was given to 14 healthy individuals (normal control). In controls, an increase in signal intensity from main activation zones and appearance of characteristic additional activation zones in cerebellar hemispheres, corpus callosum and premotor cortex was noted. In patients after basic rehabilitation, an increase in signal intensity from main activation zones in sensorimotor area and

cerebellar hemispheres was revealed for both affected and non-affected hand, irrespective of IS localization. In patients after functional training, the reorganization of functional motor system consisted in an increase in signal intensity of main activation zones only in the ipsilesional hemisphere; expressiveness of these changes did not depend on IS localization. The degree of motor recovery of the hand after functional training was significantly higher than after the basic course of rehabilitation therapy. So, neuroimaging (fMRI) and clinical analysis showed directional and effective influence of the functional training method on the processes of motor system reorganization.